

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06112576 A**(43) Date of publication of application: **22.04.94**

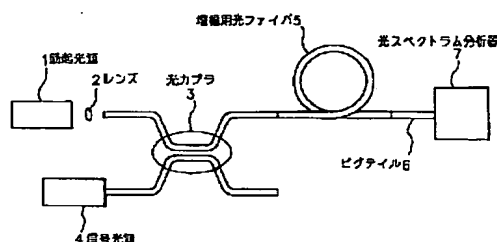
(51) Int. Cl.

**H01S 3/17**  
**G02F 1/35**(21) Application number: **04254566**(22) Date of filing: **24.09.92**(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>**(72) Inventor: **OISHI YASUTAKE  
SHIMIZU MAKOTO  
NISHI TOSHIHIRO  
YAMADA MAKOTO  
SUDO SHOICHI****(54) OPTICAL AMPLIFIER****(57) Abstract:**

**PURPOSE:** To obtain a practical Tm-doped optical fiber amplifier which operates in a 1.65- $\mu\text{m}$  band by multiplicity-exciting  $^3F_4$  of Tm,  $^2F_{5/2}$  of Yb, or  $^4I_{11/2}$  or  $^4I_{13/2}$  of Er through  $^2F_2$  or  $^2F_3$  of Tm.

**CONSTITUTION:** Laser light emitted from an exciting light source 1 is converged to a lens 2 and coupled with laser light from a signal light source 4 through an optical coupler 3. The coupled laser light is made incident to an optical fiber 5 and introduced to a light spectrum analyzer 7 which finds the gain of the amplifier laser signal light through a pigtail 6. As a result, when the light source 1 is excited with 100mW, a 10-dB gain has been confirmed at 1.65 $\mu\text{m}$ . Therefore, the reliability of an optical communication system can be improved, because a practical optical fiber amplifier which operates at 1.65- $\mu\text{m}$  band can be constituted and, by using the amplifier, an optical communication system monitoring system utilizing the 1.65- $\mu\text{m}$  band can be constructed.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&amp;Japio



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-112576

(43)公開日 平成6年(1994)4月22日

|                          |       |         |     |        |
|--------------------------|-------|---------|-----|--------|
| (51)Int.Cl. <sup>5</sup> | 識別記号  | 庁内整理番号  | F I | 技術表示箇所 |
| H 0 1 S 3/17             |       | 8934-4M |     |        |
| G 0 2 F 1/35             | 5 0 1 | 8106-2K |     |        |

審査請求 未請求 請求項の数3(全 5 頁)

|          |                 |         |  |
|----------|-----------------|---------|--|
| (21)出願番号 | 特願平4-254566     | (71)出願人 | 000004226<br>日本電信電話株式会社<br>東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 |
| (22)出願日  | 平成4年(1992)9月24日 | (72)発明者 | 大石 泰丈<br>東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日<br>本電信電話株式会社内   |
|          |                 | (72)発明者 | 清水 誠<br>東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日<br>本電信電話株式会社内    |
|          |                 | (72)発明者 | 西 俊弘<br>東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日<br>本電信電話株式会社内    |
|          |                 | (74)代理人 | 弁理士 吉田 精孝                                    |

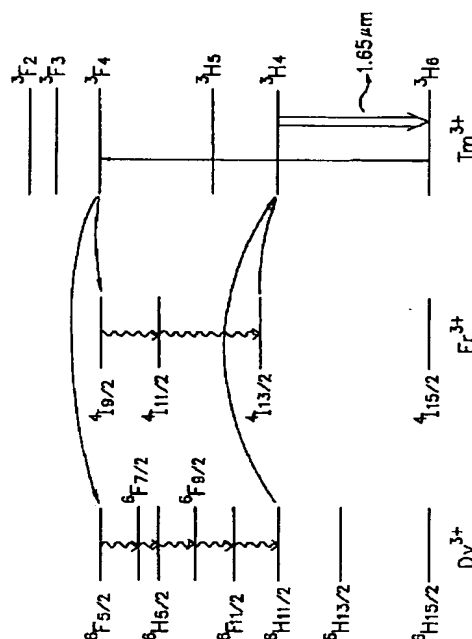
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光増幅器

(57)【要約】

【目的】 1. 6.5 μm帯で動作する実用的なTmドー  
プ光ファイバ増幅器を提供する。

【構成】 励起光源、信号光源、励起光と信号光とを結  
合する光カプラ及びコアに少なくとも一種類の希土類元  
素を含んだ光ファイバを基本構成要素とする光増幅器に  
おいて、活性希土類元素TmにEr、Dy及びYbのう  
ちの少なくとも一つの元素をコードパントとして添加  
し、Tmの<sup>2</sup>F<sub>2</sub>又は<sup>2</sup>F<sub>3</sub>又は<sup>3</sup>F<sub>4</sub>もしくはYbの  
<sup>2</sup>F<sub>5/2</sub>あるいはErの<sup>4</sup>I<sub>11/2</sub>又は<sup>4</sup>I<sub>13/2</sub>多重項を  
励起することにより、Tmを<sup>3</sup>H<sub>4</sub>レベルに励起させ  
た。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 励起光源、信号光源、励起光と信号光とを結合する光ブラ及びコアに少なくとも一種の希土類元素を含んだ光ファイバを基本構成要素とする光増幅器において、

活性希土類元素がTmであり、これにEr、Dy及びYbのうちの少なくとも一つの元素をコドーブントとして含み、

Tmの $^2F_2$ 又は $^2F_3$ 又は $^3F_4$ もしくはYbの $^2F_{5/2}$ あるいはErの $^4I_{11/2}$ 又は $^4I_{13/2}$ 多重項を励起することを特徴とする光増幅器。

【請求項2】 活性希土類元素がTmであり、Tmの $^3H_4$ 多重項を励起することを特徴とする請求項1記載の光増幅器。

【請求項3】 コアガラスにAl、P、Ge及びLaのうちの少なくとも一つをドープメントとして含んだ光ファイバを用いることを特徴とする請求項1記載の光増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は1.65 $\mu$ m帯で動作する光ファイバ増幅器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、光通信の分野では光ファイバのコアに希土類元素を添加し、希土類元素の4f殻内エネルギー準位間で誘導放出遷移させて光信号を増幅する、いわゆる光ファイバ増幅器の研究及び実用化が進められている。現在の光通信に利用されている波長帯は1.3 $\mu$ m帯及び1.5 $\mu$ m帯であり、1.3 $\mu$ m帯用にはPrドープファイバ増幅器の研究が進められ、1.5 $\mu$ m帯にはErドープファイバ増幅器の実用化が進められている。

【0003】 光通信システムを運用するにあたっては、そのシステムの運用状態を監視するシステムや試験するシステムが必要となる。例えば、現在、1.5 $\mu$ m帯の光通信システムでは1.3 $\mu$ mの光を使ってシステムの監視が行われ、1.3 $\mu$ m帯の光通信システムでは1.5 $\mu$ mの光を使ってシステムの監視が行われている。つまり、そのシステムが使用している信号波長以外の波長帯を利用して監視システムが構成されており、将来的には1.3 $\mu$ m帯にも1.5 $\mu$ m帯にも使用できる監視システムの構築が望まれており、そのシステムの動作波長帯として1.65 $\mu$ m帯の波長帯が考えられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、現在のところ、監視システムの光源として使用できる高出力の半導体レーザがなく、現存する半導体レーザの出力光を増幅できる光増幅器の開発が望まれている。

【0005】 これまで、1.65 $\mu$ m帯増幅用としては、図1に示すようなTmの $^3H_4 \rightarrow ^3H_6$ 誘導放出を

2

利用したTmドープファイバ増幅器が試みられている（例えば、I.Sankawa, H.Izumita, S.Furukawa, K.Ishihara "IEEE. Photon. Technol. Lett.," vol.2, pp.422-434, 1990 : 文献1）。

【0006】 前記文献1では0.8 $\mu$ m帯の光を使用してTmの $^3F_4$ レベルを励起し、 $^3F_4$ レベルから $^3H_4$ レベルへの緩和を利用して $^3H_4$ レベルを励起して1.65 $\mu$ m帯の光増幅が試みられているが、数dBの利得が得られているに過ぎない。

【0007】 ここで、利得が低いのは $^3F_4$ レベルを励起し、 $^3F_4$ レベルからの緩和を利用して $^3H_4$ レベルを励起しているため、 $^3H_4$ レベルに励起されるTmの数を効率良く増加させられないためである。つまり、 $^3F_4 \rightarrow ^3H_4$ 遷移の確率は $^3F_4 \rightarrow ^3H_4$ 遷移の確率より約8倍大きいため、 $^3F_4$ レベルに励起したのではTmはほとんど $^3H_4$ レベルに緩和してしまい、 $^3H_4$ レベルにとどまるTmの数が少なくなるためである。

【0008】 本発明の目的は、効率良くTmを $^3H_4$ レベルに励起してTmドープ光ファイバの1.65 $\mu$ m帯の利得を向上させ、1.65 $\mu$ m帯で動作する実用的なTmドープ光ファイバ増幅器を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】 本発明では前記目的を達成するため、励起光源、信号光源、励起光と信号光とを結合する光ブラ及びコアに少なくとも一種の希土類元素を含んだ光ファイバを基本構成要素とする光増幅器において、活性希土類元素がTmであり、これにEr、Dy及びYbのうちの少なくとも一つの元素をコドーブントとして含み、Tmの $^2F_2$ 又は $^2F_3$ 又は $^3F_4$ もしくはYbの $^2F_{5/2}$ あるいはErの $^4I_{11/2}$ 又は $^4I_{13/2}$ 多重項を励起することを特徴とする。また、活性希土類元素がTmであり、Tmの $^3H_4$ 多重項を励起することを特徴とする。また、コアガラスにAl、P、Ge及びLaのうちの少なくとも一つをドープメントとして含んだ光ファイバを用いることを特徴とする。

【0010】

【作用】 これまでのTmドープファイバ増幅器では $^3F_4$ レベルを励起していたが、本発明ではEr、Dy、Yb等のコドーブントにより $^3F_4$ レベルをクウェンチさせ、コドーブントからのエネルギー移動によりTmの $^3F_4$ レベルを励起して、その結果、励起効率を上げた。また、Tmの $^3H_4$ レベルを励起することにより $^3H_4$ レベルへの励起効率を上げた。また、コアガラスにAl、P、Ge及びLaのうちの少なくとも一つを添加することにより、希土類元素の吸収、発光帯のスペクトル幅を広げて励起効率を上げた。

【0011】 以下、実施例により本発明を説明するが、本発明は実施例中の数値、ガラス系等により限定されるものではない。

【0012】

3

【実施例1】Tm(0.1wt%)—Er(1wt%)をコアにドープした石英光ファイバ5mを用いて、1.65 $\mu$ m帯の光増幅実験を行った。用いた石英光ファイバの比屈折率差は2.3%であり、カットオフ波長は0.76 $\mu$ mであった。

【0013】図2は増幅特性の測定系の構成を示すもので、図中、1は発振波長が0.79 $\mu$ mであるTi—サファイアレーザからなる励起光源、2はレンズ、3は光カプラ、4は1.65 $\mu$ mで発振する半導体レーザからなる信号光源、5はコアにTm—Erが添加された増幅用光ファイバ、6はビグテイル、7は光スペクトラム分析器である。

【0014】励起光源1から発せられたレーザ光をレンズ2により集束し、信号光源4からのレーザ光と光カプラ3でカップリングする。カップリングしたレーザ光を光ファイバ5に入射し、ビグテイル6を介して光スペクトラム分析器7に導いて、増幅されたレーザ信号光の利得を求めた。その結果、100mWで励起した時に1.65 $\mu$ mで10dBの利得を確認することができた。

【0015】ErをTmとともにドープした場合、Tmの $^3H_4$ レベルが励起されるとErの $^4I_{9/2}$ レベルにエネルギー移動が起こり、Tm内での $^3H_4 \rightarrow ^3H_6$ の遷移が抑えられ、Tmからのエネルギー移動により $^4I_{9/2}$ 状態に励起されたErは $^4I_{13/2}$ 状態にまでフォノン放出過程により緩和され、再度、Erの $^4I_{13/2}$ レベルからTmの $^3F_4$ レベルにエネルギー移動が起こり、最終的にTmは $^3F_4$ レベルに励起され、1.65 $\mu$ m帯での利得が得られる。Erをコドープし、Tm、Er間のエネルギー移動を利用すると、Tm単独で $^3H_4$ 状態が励起される場合よりも効率良く $^3F_4$ レベルに励起されるため、Tm独立でドープした場合よりも高い利得が得られたわけである。

【0016】また、信号光源4の波長を変化させることにより、信号利得は1.62 $\mu$ mから1.85 $\mu$ mまでの波長域で確認することができた。

【0017】

【実施例2】Tm(0.1wt%)—Er(1wt%)をコアにドープしたフッ化物ファイバ5mを増幅用光ファイバ5として増幅実験を行った。コアガラス組成は53ZrF<sub>4</sub>—16BaF<sub>2</sub>—15PbF<sub>2</sub>—3.5LaF<sub>3</sub>—2.0YF<sub>3</sub>—2.5AlF<sub>3</sub>—8LiF(mol%)、クラッドガラス組成は47.5ZrF<sub>4</sub>—23.5BaF<sub>2</sub>—2.5LaF<sub>3</sub>—2YF<sub>3</sub>—4.5AlF<sub>3</sub>—20NaF(mol%)であり、比屈折率差は3.7%である。実施例1と同じ励起波長で励起したところ、この光ファイバを増幅用光ファイバとして用いても1.65 $\mu$ m帯で10dB以上の利得が確認できた。

【0018】

【実施例3】Tm(0.1wt%)—Dy(1wt%)をコアにドープ

4

したフッ化物ファイバ5mを増幅用光ファイバ5として増幅実験を行った。コアガラス組成は53ZrF<sub>4</sub>—16BaF<sub>2</sub>—15PbF<sub>2</sub>—3.5LaF<sub>3</sub>—2.0YF<sub>3</sub>—2.5AlF<sub>3</sub>—8LiF(mol%)、クラッドガラス組成は47.5ZrF<sub>4</sub>—23.5BaF<sub>2</sub>—2.5LaF<sub>3</sub>—2YF<sub>3</sub>—4.5AlF<sub>3</sub>—20NaF(mol%)であり、比屈折率差は3.7%である。実施例1と同じ励起波長で励起したところ、この光ファイバを増幅用光ファイバとして用いても1.65 $\mu$ m帯で10dB以上の利得が確認できた。

【0019】これはDyをTmとともにコアにドープすると、図3に示した過程を辿ってTm、Dy間でエネルギー移動が起こり、Tmの $^3H_4$ レベルを励起した場合、Tm単独の場合よりもTmの $^3F_4$ レベルが効率良く励起されたためである。

【0020】

【実施例4】実施例1で用いたファイバを増幅用光ファイバ5として用いて、0.66 $\mu$ m、0.685 $\mu$ mの励起波長で $^3F_2$ 、 $^3F_3$ レベルを励起したところ、 $^3H_4$ レベルを励起した場合と同様、1.65 $\mu$ m帯で10dB以上の利得が確認できた。これは $^3F_2$ 又は $^3F_3$ レベルから $^3H_4$ レベルへフォノン放出により緩和が起こり、その結果、 $^3H_4$ レベルが効率良く励起されたためである。

【0021】

【実施例5】Tm(0.1wt%)がコアにドープされた石英光ファイバを増幅用光ファイバ5として1.65 $\mu$ m帯の光増幅実験を行った。励起波長は1.6 $\mu$ mで、 $^3F_4$ レベルを励起した。その結果、50mWの励起パワーにより、1.65 $\mu$ m帯において10dB以上の利得が確認できた。これはTmの $^3F_4$ レベルを励起する場合よりも $^3H_4$ レベルを励起する方が直接、レーザ始準位を励起することにより、効率良く $^3H_4$ レベルの励起ができるためである。1.6 $\mu$ m帯励起も0.79 $\mu$ m帯励起と同様、半導体レーザを用いた励起が可能であるため実用的である。

【0022】

【実施例6】Tm(0.1wt%)—Yb(3wt%)がコアにドープされた石英光ファイバを増幅用光ファイバ5として1.65 $\mu$ m帯の光増幅実験を行った。励起波長は0.98 $\mu$ mであり、Ybの $^2F_{5/2}$ レベルを励起した。図4に示すようにYbの $^2F_{5/2}$ レベルが励起されると、 $^2F_{5/2}$ レベルからTmの $^3H_5$ レベルにエネルギー移動が起こり、また、 $^3H_5$ レベルから $^3H_4$ レベルにはフォノン放出により緩和が起こり、最終的にはTmの $^3H_4$ レベルが励起される。その結果、本実施例では50mWの励起により1.65 $\mu$ m帯で10dB以上の利得が確認できた。

【0023】また、本実施例ではYbの $^2F_{5/2}$ レベルを励起したが、Tmの $^2F_2$ 、 $^3F_3$ 、 $^3F_4$ レベルを

5

励起しても良い。これはTmの $^3F_4$ からYbの $^2F_{5/2}$ へエネルギー移動が起こり、また、Ybの $^2F_{5/2}$ からTmの $^3H_5$ にエネルギー移動が起こり、最終的にTmの $^3H_4$ レベルが励起されるからである。

## 【0024】

【実施例7】Tm(0.1wt%)—Er(3wt%)がコアにドープされた石英光ファイバを増幅用光ファイバ5として1.65 $\mu$ m帯の光増幅実験を行った。励起波長は0.98 $\mu$ m, 1.48 $\mu$ mの2つの波長を用いて、それぞれErの $^4I_{11/2}$ レベル、 $^4I_{13/2}$ レベルを励起した。この場合、図5に示すようにErからTmへエネルギー移動が起こり、最終的にはTmの $^3H_4$ レベルが励起される。その結果、本実施例では50mWの励起により1.65 $\mu$ m帯で10dB以上の利得が確認できた。

【0025】これまで述べた実施例1から実施例7では、ファイバ素材として石英ガラス、ZrF<sub>4</sub>系のフッ化物ガラスを用いたが、この他に石英系多成分ガラス、リン酸ガラス、フッリン酸ガラス、カルコゲナイドガラスを用いても同様の結果が得られた。石英ガラスを用いる場合、Erドープ光ファイバアンプ用のコアガラス成分、例えばAl, P, La, Ge等の成分を用いることができるのはいうまでもない。特に、Al, P, La等がGeの外に石英ガラス中に添加されていると、希土類元素の吸収、発光帯のスペクトル幅が広がるため、希土類元素間のエネルギー移動が効率良く起り、また、添加濃度を上げることも可能となり、その結果、エネルギー移動を起させ易くなる。また、フッ化物ガラスとしては

6

InF<sub>3</sub>系ガラス、AlF<sub>3</sub>系ガラス、AlF<sub>3</sub>—ZrF<sub>4</sub>系ガラスも用いられ、カルコゲナイドガラスとしてはAs—S、Ge—S、Ge—S—Se、As—Ge—S等のガラスが用いられる。

【0026】また、本実施例ではTmによる1.65 $\mu$ m帯の光増幅の外に、コドープメントとして添加Erの $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 遷移による1.55 $\mu$ m帯の光増幅も同時に観測することができた。

## 【0027】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、1.65 $\mu$ m帯で動作する実用的な光ファイバ増幅器を構成でき、これを用いることにより1.65 $\mu$ m帯を利用した光通信システムの監視システムを構築でき、光通信システムの信頼性向上に大きな成果をもたらすことができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】Tmのエネルギーレベルダイヤグラム

【図2】増幅特性の測定系の構成図

【図3】Tm—Er、Tm—Dy間のエネルギー移動を示す図

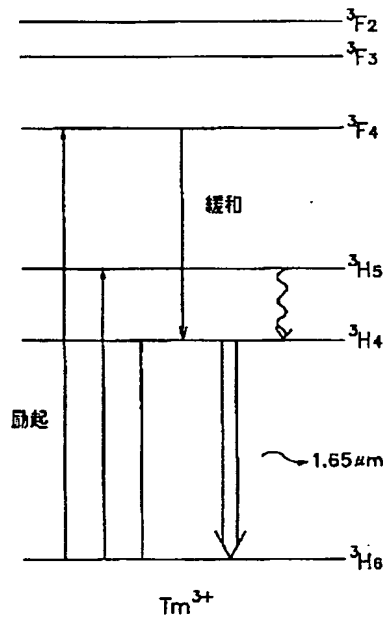
【図4】Tm—Yb間のエネルギー移動を示す図

【図5】Tm—Er間のエネルギー移動を示す図

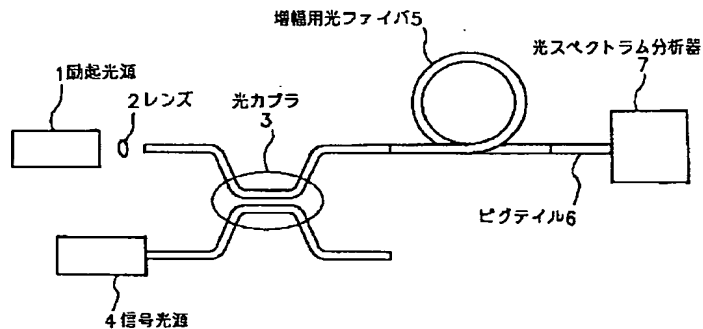
## 【符号の説明】

1…励起光源、2…レンズ、3…光カプラ、4…信号光源、5…増幅用光ファイバ、6…ビグテイル、7…光スペクトラム分析器。

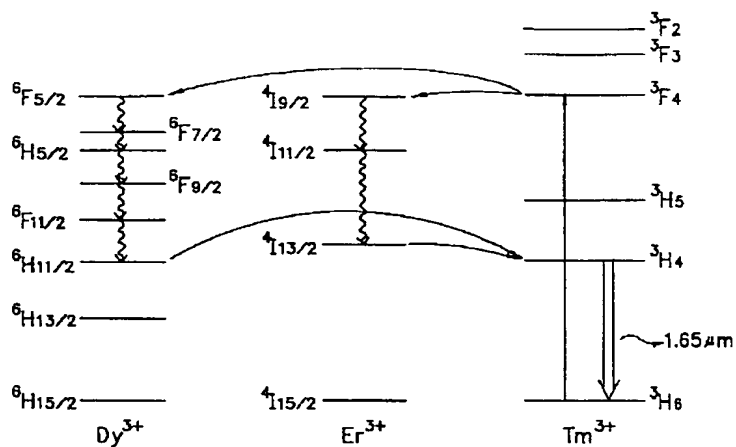
【図1】



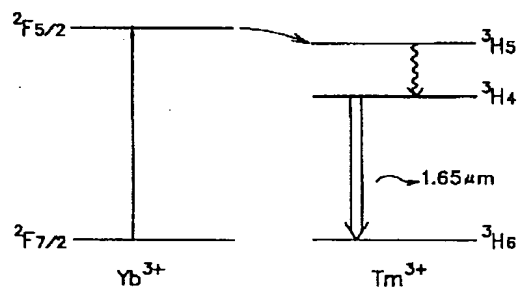
【図2】



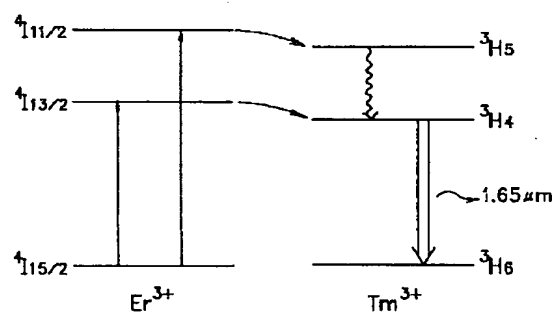
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 山田 誠  
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 須藤 昭一  
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内